

REC'D 10 SEP 2001

WIFO PCT

PCT/JP01/06232

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

18.07.01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 2月20日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-042901

出 願 人
Applicant(s):

日本精工株式会社

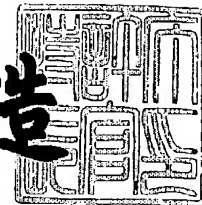
**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2001年 8月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3074861

【書類名】 特許願

【整理番号】 200226

【提出日】 平成13年 2月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F16C 19/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内

【氏名】 宇山 英幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内

【氏名】 植田 光司

【特許出願人】

【識別番号】 000004204

【氏名又は名称】 日本精工株式会社

【代表者】 関谷 哲夫

【代理人】

【識別番号】 100066980

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 哲也

【選任した代理人】

【識別番号】 100075579

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 嘉昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100103850

【弁理士】

【氏名又は名称】 崔 秀▲てつ▼

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-217285

【出願日】 平成12年 7月18日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-357514

【出願日】 平成12年11月24日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001638

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9006534

【包括委任状番号】 9402192

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 転動装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外方部材と内方部材との間に転動体を配設する転動装置において、前記外方部材及び内方部材の少なくとも一つが β 型又は $\alpha + \beta$ 型チタン合金で構成され、且つその部材の完成品表面硬さがHv400以上600未満であることを特徴とする転動装置。

【請求項 2】 前記外方部材及び内方部材の少なくとも一つが β 型又は $\alpha + \beta$ 型チタン合金で構成されていて、Hv420以上の芯部硬さを有し、かつ表面にその厚さが20nm以上でルチル型 TiO_2 を含む酸素化合物層を有することを特徴とする請求項 1 記載の転動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、転がり軸受、ボールネジ、直動案内装置等のように、外方部材と内方部材との間に転動体を配設する転動装置に関し、特に半導体製造装置や化学繊維製造機のように、水や海水、化学薬品等の腐食性環境下で使用されるものや、半導体製造装置、液晶製造装置、X線或いは電子線を使用する計測装置のように、磁場を利用する機械装置に使用されるものや、非磁性が要求される環境下で使用されるものに好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、転がり軸受などの転動装置の材料としては、主に高炭素クロム軸受鋼や肌焼鋼のような鉄鋼材料が一般的に使用されている。また、近年、転動装置の使用環境は多種多様であり、水中、塩水中、或いは酸・アルカリ等の腐食性環境下で使用されることもあることから、高い耐食性が要求される部位で使用される場合には、ステンレス鋼製の転動装置も使用されている。

【0003】

しかしながら、近年、転動装置の使用環境はより過酷になっており、ステンレ

ス鋼製でも耐食性が不足する場合が生じている。そこで、特開平11-223221号公報では、軌道輪が、Hv600以上に強化されたチタン合金からなり、転動体がセラミックス製の転がり軸受が提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、一般に、チタン合金の強化は、 β 相から α 相を微細に析出させることによってなされる。前記従来技術のように、チタン合金をHv600以上にするためには、 β 相から α 相が十分に析出した状態になっていなければならない。しかしながら、 α 相は、 β 相よりも耐食性に劣るため、析出した α 相が過剰になると、使用環境によっては、耐食性に問題が生じる場合がある。

【0005】

また、チタン合金をHv600以上にするためには、多くの場合、冷間加工或いはショットピーニング等を行う必要があり、これらの工程が増えることによりコストアップにつながる。

一方、半導体製造装置、液晶製造装置、X線或いは電子線を使用する計測装置などのように、磁場を利用する装置や磁場によって測定精度が低下する装置が増加している。このような装置に使用される転動装置は、回転によって周辺磁場を乱さないために非磁性が要求される。そこで、このような装置には、非磁性ステンレス鋼製或いはベリリウム銅製の転動装置が用いられている。

【0006】

しかし、従来の非磁性ステンレス鋼の透磁率は1.04~1.002程度であり、電子線などを用いる分析装置や測定装置では、転動装置が僅かに磁化するだけでも精度不良の原因になる場合があるため、非磁性ステンレス鋼は使用できない。

より完全に近い非磁性が要求される場合には、透磁率1.001以下のベリリウム銅を用いる場合が多い。しかしながら、ベリリウム銅を構成する元素ベリリウムやその化合物の一部は、環境負荷物質と認識されており、使用に際して制約を受けることがある。また、今後更に社会的に環境問題が重視されることが予測されるため、ベリリウム銅そのものの使用量が減少する可能性もある。また、ベ

リリウム銅は、最大硬さがHv400程度であり、高面圧下では早期摩耗が生じるという問題もある。

【0007】

本発明は前記諸問題を解決すべく開発されたものであり、耐食性に優れ、高い非磁性と硬さを有する転動装置を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

かかる諸問題を解決するために、本発明に係る転動装置は、外方部材と内方部材との間に転動体を配設する転動装置において、前記外方部材及び内方部材の少なくとも一つが β 型又は $\alpha + \beta$ 型チタン合金で構成され、且つその部材の完成品表面硬さがHv400以上600未満であることを特徴とするものである。

【0009】

β 型又は $\alpha + \beta$ 型チタン合金の熱処理は、 α / β 変態点直上或いは直下の温度から、加熱保持による溶体化処理をして、金属組織をほぼ β 相にする。その後、時効処理を施し、 β 相から α 相を微細に析出させることによって、硬さを向上させる。

チタン合金は、非常に耐食性に優れた金属であるが、特に β 相は、添加されている合金元素を多く固溶することができるため、非常に耐食性に優れる。一方、 α 相は、固溶することができる合金元素の量が少ないため、前述のように β 相と比較して耐食性がやや劣る。

【0010】

時効処理によって、 β 相から α 相を析出させた場合には、 α 相の析出に伴い、 β 相中に β 安定化合金元素が濃縮する。そのため、 α 相の析出量が多くなると、 α 相と β 相との耐食性の違いが大きくなり、局部的に腐食を起こす恐れがある。そこで、より腐食性が高い環境下でも好適に使用できるように、 β 型或いは $\alpha + \beta$ 型チタン合金中の β 相を或る程度残留させる必要がある。

【0011】

しかし、一方で、 β 相は α 相より軟質なため、 β 相の量が多すぎると、耐食性は優れていても、転動装置として使用できない。そこで、高耐食性を保持し、更

にコストアップを招く冷間加工やショットピーニングなどの工程を必要とせず、溶体化処理及び時効処理での α 相及び β 相の金属組織制御について鋭意研究を行ったところ、チタン合金の硬さをHv400以上600未満にすることによって、耐食性に非常に優れ、且つ転動装置としても良好に使用し得ることを見出した。

【0012】

Hv400以上600未満という硬さは、従来、特殊環境用転動装置として使用されているSUS630或いはYHD（登録商標：日立金属株式会社）50等のステンレス鋼と同程度であり、それほど高負荷でない場合には転動装置として十分に使用可能である。

また、転がり軸受などの転動装置の内・外方部材と転動体との接触面は、接触楕円と呼ばれる楕円状になり、この面積は非常に小さいため、転動装置に応力が加わったときには、接触面に非常に大きな面圧がかかる。ここで、ステンレス鋼のヤング率が約200GPaであるのに対して、チタン合金のヤング率は約110GPa程度である。これは、転動装置に応力が加わったとき、チタン合金製内・外方部材の方が、変形が大きく、接触面積が大きくなることを表している。計算上では、チタン合金製転がり軸受の接触楕円の面積は、ステンレス鋼製転がり軸受のそれより大きく、チタン合金製転がり軸受の接触楕円における最大接触面圧は、ステンレス鋼製転がり軸受のその0.8倍程度になる。従って、本発明のチタン合金製転動装置は、従来のステンレス鋼製転動装置より、内・外方部材と転動体との接触面積が大きくなり、接触面圧が下がり、転がり疲労が緩和され、転動装置として良好である。

【0013】

一方、内・外方部材の表面硬さがHv400未満になると、面圧が低くても、摩耗が急激に生じやすくなる。また、ゴミなどの異物が混入した際に圧痕が生じやすくなり、寿命が短くなる。従って、本発明における内・外方部材の表面硬さはHv400以上でなければならない。なお、より耐摩耗性が要求される場合には、好ましくは表面硬さをHv450以上とする。更に、より耐食性或いは耐摩耗性が要求される場合には、窒化処理或いは酸化処理などの表面硬化熱処理によ

ってチタン合金をより高硬度及び高耐食にすることができる。

【0014】

また、チタン合金の透磁率は1.001以下であり、この値は、ほぼ完全に近い非磁性であり、電子線などを用いる分析装置や測定装置でも、回転によって周辺磁場に影響を与えることはない。従って、これらの装置に用いても、精度不良の原因になることはなく、良好に使用できる。

但し、転動体や保持器が非磁性体でない場合、これらが磁化すると、前述のような装置の精度不良の原因となる。従って、転動装置に非磁性が要求される場合、転動体及び保持器も、チタン合金からなる内・外方部材と同等或いはそれ以下の透磁率である必要がある。転動体に具体例としては、チタン合金製転動体を始め、窒化珪素、炭化珪素、ジルコニア系セラミックス、アルミナ系セラミックス、サイアロン系セラミックスなどのセラミックス製転動体などが例示できる。また、保持器の具体例としては、ポリアミド、フッ素樹脂等の樹脂製保持器、或いは黄銅、SUS304等が例示できる。

【0015】

更に、これらの材料を子細に考察すると、SUS304に代表されるステンレス鋼製保持器では、プレス加工時の加工誘起変態によってマルテンサイトが形成され、磁化されやすくなり、回転時の磁場変動が大きくなる可能性がある。更に、近年では、非磁性ステンレス鋼の比透磁率1.01～1.1より低い透磁率、具体的には1.001程度が要求されており、非磁性ステンレス製保持器の使用が制限される場合もある。

【0016】

従って、本発明の転動装置では、外方部材と内方部材との間に転動体を配設する転動装置において、前記外方部材及び内方部材をチタン合金製とし、転動体をセラミックス製とし、保持器を、熱伝導率が20W/(m・K)以上の銅系合金製とすることが望ましい。

前述のようにチタン合金はほぼ完全な非磁性体であり、セラミックスも完全非磁性体である。銅合金は、非磁性ステンレス鋼より透磁率の小さい非磁性材料で、比透磁率が1.001以下であり、磁場環境下で使用しても、回転に伴う磁場

変動が生じないため、非磁性環境下で使用される転動装置の金属製保持器として好適である。

【0017】

また、潤滑油やグリースが使用できない電子線環境下、或いは電子線機器や半導体製造装置のような非磁性且つ真空環境下で且つグリースを使用できないような状況でも、銅合金は自己潤滑性を有するため、転動体との接触面及び軌道輪案内面での摩擦特性が向上し、摩耗量が少ない。

また、銅合金の保持器は熱伝導率が大きく、摺動案内面での熱の蓄積が生じないため、凝着摩耗を抑制することができる。また、銅合金は放熱性が高く、保持器の回転に伴って放熱が促進され、軸受の温度上昇を抑制することができる。これに対し、軌道輪がチタン合金製、保持器がSUS304オーステナイト系非磁性ステンレス鋼製である場合には、SUS304の熱伝導率と比熱が小さいため、保持器と軌道輪案内面との間の摺動箇所でも局部的に著しく温度が上昇し、軌道輪の凝着摩耗が生じやすい。ここで、SUS304オーステナイト系非磁性ステンレス鋼の熱伝導率が $16\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であることから、本発明の銅合金製保持器は $20\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上、更に望ましくは $35\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上の熱伝導率を有する銅合金製とする。

【0018】

銅合金の種類としては、純銅、テルル銅、黄銅、快削黄銅、高力黄銅、アルミ青銅等の銅合金鋳物、又は純銅、テルル銅、リン青銅、洋白、キュープロニッケルのような展伸用銅合金、或いは析出硬化型のベリリウム銅等、熱伝導率が $20\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上の銅合金であれば何れも好適に使用できる。但し、純銅、或いはテルル銅のような低合金は、強度、硬さが低いので、特に耐摩耗性を重視する場合には、これらを除いた銅合金を使用するのが望ましい。

【0019】

ところで、酸化処理や窒化処理などの表面処理は、化合物の厚さの確保および侵入した元素の拡散促進のため、 600°C 以上の高温での処理が必要とされている。しかし、チタン合金を酸素あるいは酸素元素を有するガス中で所定の時間加熱すると、チタンは酸素との親和力が強いので、 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ の比較的低い温

度でも表面に TiO_2 、 Ti_3O 等の酸素化合物を形成する。

【0020】

本発明者らは、鋭意研究の結果、400～600℃の低温での酸化処理の場合、700℃以上の高温での酸化処理に比較して、化合物層の厚さは薄いにもかかわらず、耐摩耗性および摺動性を著しく向上させる効果が得られるという知見を後述する実験結果より得た。

酸化処理によってチタン合金の表面に形成される TiO_2 等の酸素化合物は、化学的に非常に安定な物質である。一方、チタン合金はその表面が転動体等の摺動により極めて活性になりやすく、それによって凝着摩耗などを生じやすいため、耐摩耗性に劣ると考えられている。しかし、チタン合金に酸化処理を施すことにより表面が化学的に極めて安定した化合物によって覆われるため、表面の活性化が抑制され、その結果として焼付きが起こりにくくなり、摺動性および耐摩耗性が向上する。

【0021】

また、酸化処理によってチタン合金の表面に形成される酸素化合物層の厚さが20nm以上になると、負荷容量が増加し、摺動性および耐摩耗性の効果が著しく向上する。ただし、酸素化合物層の厚さが20nm未満であると、耐摩耗性および摺動性を向上させる効果が小さい。よって、酸素化合物層の厚さは20nm以上とすることが望ましい。さらに耐摩耗性および摺動性の耐久性を得るために、酸素化合物層厚さを50nm以上とすることが好ましい。

【0022】

また、チタン合金を700℃以上の高温で酸化処理すると、チタン合金の表面に生成される酸素化合物層は硬度の高いルチル型 TiO_2 が主となり、酸素化合物層の厚さも増大する。このため、高負荷に対する耐久性は向上するが、その分、チタン合金の表面粗さが劣化し、回転トルクが上昇してしまう場合がある。また、 TiO_2 を主成分とする酸素化合物層は脆く、母材から離脱し易い。

【0023】

一方、チタン合金を400～600℃の低温で酸化処理すると、チタン合金の表面に形成される酸素化合物層は、ルチル型 TiO_2 と Ti_3O 等の TiO_x 酸化

物 (x ; $0 < x < 2$) および Ti とが混在する状態になり、ルチル型 TiO_2 を主とする酸素化合物層に比べて緻密となるため、酸化処理後の表面粗さが良好になり、その結果として回転時のトルクも低く、化合物層の脱離などが生じにくい。

【0024】

図11に、チタン合金の熱処理工程の概略を示す。

図11の(A)は β 型チタン合金および $\alpha + \beta$ 型チタン合金の硬化法として、一般に行われる溶体化処理と時効処理の熱処理工程を示したものであり、この熱処理方法では、チタン合金が急激に酸化しやすいため、高真空雰囲気あるいはアルゴン等の不活性ガス雰囲気で加熱されることが多い。

【0025】

図11の(B)は、高温でのガス酸化処理を示したものである。この場合、酸化処理後にそのまま使用される場合が多いが、溶体化処理と時効処理をせずに高温で長時間加熱するため、芯部硬さが低くなり、転がり寿命に悪影響を及ぼす場合がある。また、前述したように表面粗さの劣化や化合物層の脆化を引き起こすおそれもある。

【0026】

図11の(C)は、チタン合金を $400 \sim 600^\circ\text{C}$ の低温で酸化処理する場合を示したものである。 $400 \sim 600^\circ\text{C}$ という酸化処理温度は、 β 型チタン合金および $\alpha + \beta$ 型チタン合金を溶体化処理後に時効処理するときの温度と同一温度範囲内にあるため、酸化処理と時効処理を兼ねることができる。そのため、工数増加によるコストアップを招くこともない。

【0027】

また、時効処理によってチタン合金の表面だけでなく、芯部の硬さも $Hv420$ 以上まで向上するため、転がり寿命が向上する。また、処理温度が低いと、熱変形が小さく、転動部材の精度を狂わせる可能性が少ない。ただし、芯部硬さが $Hv420$ 未満であると、表面に酸素化合物層を有していても転動体の転がり寿命延長効果は少ない。よって、時効処理を兼ねる酸化処理によって芯部硬さは $Hv420$ 以上とすることが望ましい。また、より安定した転がり寿命の延長効果を得るためには、芯部硬さを $Hv450$ 以上とすることが好ましい。

【0028】

酸化処理を行うガス雰囲気は、酸素あるいは酸素元を有するガス中で行う。例えば、大気中、90%N₂+10%O₂ガス中あるいはArガスに所定量のH₂Oガスを混合させたガス中などである。ただし、酸化処理を施すことによって、表面にルチル型TiO₂を含み、厚さが20nm以上の酸素化合物層を形成することができれば、酸化処理雰囲気のガスの種類は問わない。また、急激な酸化を防ぐため、加熱炉内を減圧した状態で前記ガスを使用し、酸化処理を行うこともできる。

【0029】

従って、本発明の転動装置では、前記外方部材及び内方部材の少なくとも1つを芯部硬さがHv420以上のチタン合金から構成し、その表面に厚さが20nm以上でルチル型TiO₂を含む酸素化合物層を形成することが望ましい。また、芯部硬さをHv450以上とし、酸素化合物層の厚さを50nm以上とすることが好ましい。

【0030】

また、酸化処理前のチタン合金の表面粗さが粗いと、酸化処理後の耐摩耗性および摺動性向上の効果が小さくなる場合がある。よって好ましくは、酸化処理前に仕上げ研磨を行う。

酸化処理を施すチタン合金としては、溶体化処理と時効処理によって硬度が上昇するα+β型チタン合金あるいはβ型チタン合金が好適に使用し得る。たとえば、Ti-6Al-4V、Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al、Ti-22V-4Al、Ti-15Mo-5Zr-3Alなどである。ただし、酸化処理を施すことによって、表面にルチル型TiO₂を含み、厚さが20nm以上の酸素化合物層を形成し、芯部硬さがHv420以上となるチタン合金であれば、種類は問わない。

【0031】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

図1は本発明の第1実施形態に係る転がり軸受の断面図である。この転がり軸

受は、外輪1、内輪2、転動体3、保持器4、及びシール5から構成される、呼び番号6001（内径12mm、外径28mm、幅8mm）の玉軸受である。このうち、外輪1及び内輪2、つまり軸受軌道輪には、 $\alpha + \beta$ 型チタン合金Ti-6Al-4V、及び β 型チタン合金Ti-15Mo-5Zr-3Al及びTi-15Mo-5Zrを用いた。転動体3は窒化珪素球であり、保持器4はフッ素樹脂保持器である。

【0032】

前記軌道輪は、前記チタン合金を旋削加工した後、溶体化処理及び時効処理を施し、その後、研削加工した。溶体化処理は、Ti-6Al-4Vは950℃～1000℃、Ti-15Mo-5Zr-3Al及びTi-15Mo-5Zrは800℃～850℃で1時間保持し、水冷して行った。時効処理条件は、全て350℃～500℃で、3時間～40時間行った。冷却は、通常空冷で行ったが、析出組織を微細にして、硬さを向上させる必要があるものには、炉冷によって冷却速度を遅くした。また、より均一微細に α 相を析出させる必要のあるものには、まず425℃で17時間時効処理し、その後、475℃で7時間時効処理する、二段時効処理を用いた。

【耐食性試験】

作製した転がり軸受軌道輪の外輪を約25℃の5N-H₂SO₄硫酸液中に24時間浸漬し、腐食によって生じる重量の減少量を測定した。

【転がり寿命試験】

作製した転がり軸受に対し、図2に示す試験装置で、5%塩化ナトリウム水溶液（以下、塩水）中で転がり寿命試験を行った。図中の符号10は試験軸受、11は治具、12はモータ、13は回転軸、14はアキシャル荷重制御バネ、15はラジアル荷重負荷ワイヤである。試験条件は以下の通り。

【0033】

ラジアル荷重：49N

アキシャル荷重：19.6N

回転速度：1000rpm

潤滑：無潤滑

表 1 に、本発明の実施例及び比較例の軌道輪材料、時効処理条件、表面硬さ、硫酸耐食性試験後の腐食減量、及び塩水中転がり寿命試験における転がり寿命比を示す。なお、転がり寿命比は、比較例 1 の転がり寿命を 1 として標準化した。

【 0 0 3 4 】

【表1】

No.	軌道輪材料	時効処理条件	表面硬さ (Hv)	硫酸中 腐食減量(g)	塩水中 転がり寿命比
1	Ti-6Al-4V	500°C×6h	406	0.0002	2.2
2	Ti-6Al-4V	450°C×20h(炉冷)	427	0.0002	2.5
3	Ti-15Mo-5Zr-3Al	450°C×16h	453	0.0001	2.4
4	Ti-15Mo-5Zr-3Al	425°C×17h+475°C×7h(炉冷)	479	0.0001	2.9
5	Ti-15Mo-5Zr	450°C×20h(炉冷)	552	0.0002	3.0
6	Ti-15Mo-5Zr	350°C×40h	592	0.0001	3.5
1	Ti-6Al-4V	500°C×3h	361	0.0002	1.0
2	Ti-15Mo-5Zr-3Al	450°C×8h	393	0.0001	1.3
3	Ti-15Mo-5Zr-3Al	冷間加工+450°C×20h	605	0.0005	3.2
4	Ti-15Mo-5Zr	冷間加工+450°C×20h	615	0.0008	3.7
5	Ti-15Mo-5Zr	冷間加工+350°C×40h	630	0.001	3.5
6	SUS440C	—	670	0.5	0.9
7	SUS630	—	455	0.1	1.2
8	ペリリウム銅	—	397	0.009	1.0

【0035】

本発明の実施例1～6は、金属組織中の析出 α 相及び残留 β 相を適量に制御するために、表面硬さをHv400以上600未満に調整したチタン合金製軌道輪

であり、硫酸中耐食性試験においても腐食減量は僅かであり、優れた耐食性を示している。また、転動装置として必要な硬さと優れた耐食性を備えているため、塩水中転がり寿命試験においても転がり寿命が長い。

【 0 0 3 6 】

比較例 1 及び比較例 2 は、実施例と同様の合金成分のチタン合金であるが、金属組織中の α 相の微細析出が不十分で β 相の量が多いため、表面硬さが $Hv\ 400$ 未満である。そのため、硫酸中でも優れた耐食性を示すが、軌道輪表面硬さが $Hv\ 400$ 未満と低く、転動装置として要求される硬さが不足し、耐摩耗性が悪く、転がり寿命は短い。

【 0 0 3 7 】

比較例 3 ～ 5 も、実施例と同様の合金成分のチタン合金であるが、冷間加工を加えることによって表面硬さを $Hv\ 600$ 以上にした。表面硬さも高く、塩水溶液中のような軽度な腐食環境下では、優れた耐食性を示し、塩水中での転がり寿命は長い。しかし、硫酸中のような厳しい腐食環境下では、 α 相の析出が過剰であるため、前記実施例に比して腐食減量が多く、耐食性に劣る。そのため、比較例 3 ～ 5 は、水、塩水、弱酸、弱アルカリなどの軽度の腐食環境下では良好に使用できると考えられるが、強酸、強アルカリなどの厳しい腐食環境下では使用できない。

【 0 0 3 8 】

比較例 6 ～ 8 は、ステンレス鋼製或いはベリリウム銅製軌道輪である。チタン合金と比較して、硫酸中での腐食減量が著しく多く、硫酸中の耐食性は著しく劣る。そのため、厳しい腐食環境下で使用することは困難である。更に、塩水中のような軽度の腐食環境下でも、チタン合金と比較して耐食性に劣る。そのため、比較例 6 は $SUS\ 440C$ 製軌道輪であり、表面硬さは高いにも関わらず、耐食性は最も悪いため、塩水中転がり寿命は短い。また、比較例 7 及び比較例 8 は、析出硬化型ステンレス鋼製軌道輪及びベリリウム銅製軌道輪である。硬さはチタン合金と同程度であるが、耐食性に劣るため、塩水中転がり寿命が短い。

【 0 0 3 9 】

図 3 は、前記硫酸中耐食性試験における腐食減量と表面硬さとの関係を示した

ものである。チタン合金は、ステンレス鋼及びベリリウム銅と比較して、圧倒的に耐食性に優れていることが分かる。しかし、Hv 600以上のチタン合金では耐食性が低い。そのため、転動装置の内・外方部材としての表面硬さはHv 600未満が望ましい。

【0040】

図4は、前記塩水中転がり寿命試験における転がり寿命比と表面硬さとの関係を示したものである。表面硬さがHv 400以上になると転がり寿命が大幅に向上することが分かる。そのため、転動装置の内・外方部材としての表面硬さはHv 400以上が望ましい。

これらの結果から、塩水中のような軽度の腐食環境下では、表面硬さがHv 600以上のチタン合金製軌道輪でも転がり寿命は長い、硫酸中ではHv 600以上になると耐食性が劣る。硫酸中などのようにより厳しい腐食環境下では、転動部材として使用し得る硬さを備えていることに加えて、より高い耐食性を備えていなければならない。そのためには、チタン合金の金属組織中の析出 α 相及び残留 β 相を適量に制御する必要があり、表面硬さをHv 400以上600未満に調整することにより、所望の性能の転動装置を得ることができる。

【0041】

次に、前述と同様のチタン合金を用い、前述と同様の溶体化処理、時効処理を施して、試験軸受を作製し、磁束密度変化測定試験を行った。これは、非磁性が要求される環境下で、良好に使用できることを検証する試験である。

〔磁束密度変化測定試験〕

磁束密度変化測定試験の試験装置を図5に示す。図中の符号10は試験軸受、13は回転軸、16は永久磁石、17はテスラーメータである。回転による周辺磁場への影響を調査するために、永久磁石16は試験軸受10の周囲に設置し、試験軸受10を500rpmで回転させたときの磁束密度の変化をテスラーメータ17で測定した。テスラーメータ17で測定した磁束密度が図6に示すような波形を示し、最大磁束密度変化が0.1mT以上になったものを磁束密度変化：有りとし、0.1mT未満のものを磁束密度変化：無しとした。表2aに本発明の実施例及び比較例の軸受の構成及び磁束密度変化測定試験の結果を示す。なお

、表 2 b には、用いた各材質の透磁率を示す。比較例に用いた非磁性ステンレス鋼は Y H D（登録商標：日立金属株式会社）5 0 である。また、比較例に用いたベリリウム銅は、ベリリウム元素を 2 重量% 含む銅合金である。また、保持器に用いた樹脂は、P T F E（ポリテトラフルオロエチレン）である。

【 0 0 4 2 】

【表 2】

(a)

	試験No.	軌道輪	転動体	保持器	磁束密度変化
実施例	11	Ti-6Al-4V	Si ₃ N ₄	樹脂	無し
	12	Ti-6Al-4V	アルミナ系セラミックス	樹脂	無し
	13	Ti-15Mo-5Zr-3Al	Si ₃ N ₄	樹脂	無し
	14	Ti-15Mo-5Zr-3Al	SiC	樹脂	無し
	15	Ti-15Mo-5Zr	Si ₃ N ₄	樹脂	無し
	16	Ti-15Mo-5Zr	ジルコニア系セラミックス	樹脂	無し
比較例	11	Ti-6Al-4V	Si ₃ N ₄	SUS304	有り
	12	Ti-15Mo-5Zr-3Al	SUS440C	樹脂	有り
	13	Ti-15Mo-5Zr	SUS440C	樹脂	有り
	14	ベリリウム銅	Si ₃ N ₄	SUS304	有り
	15	非磁性ステンレス	Si ₃ N ₄	樹脂	有り

(b)

	材質	透磁率
軌道輪	Ti-6Al-4V	1.001以下
	Ti-15Mo-5Zr-3Al	1.001以下
	Ti-15Mo-5Zr	1.001以下
	ベリリウム銅	1.001以下
	非磁性ステンレス	1.001より大
転動体	Si ₃ N ₄	1.001以下
	SiC	1.001以下
	ジルコニア系セラミックス	1.001以下
	アルミナ系セラミックス	1.001以下
	SUS440C	1.001より大
保持器	樹脂	1.001以下
	SUS304	1.001より大

【0043】

表2から明らかなように、実施例11～16は、内・外方部材である軌道輪に透磁率1.001以下のチタン合金を用い、転動体及び保持器にも透磁率1.001以下の非磁性材料を用いているため、軸受を回転させた際の最大磁束密度変化は、全て0.1mT未満で、非磁性を要求される環境下でも良好に使用できる。

【0044】

比較例11及び比較例14は、軌道輪には透磁率1.001以下のチタン合金或いはベリリウム銅を用いているが、保持器に透磁率が1.001より大きいSUS304を用いているため、軸受回転による磁束密度変化が生じた。

比較例12及び比較例13は、軌道輪はチタン合金であるが、転動体に透磁率が1.001より大きいSUS440Cを用いているため、軸受回転による磁束密度変化が生じた。

【0045】

比較例15は、軌道輪に透磁率が1.001より大きい非磁性ステンレス鋼を用いているため、軸受回転による磁束密度変化が生じた。

つまり、軸受回転によって磁場を乱さないためには、軌道輪、転動体、保持器に全て透磁率1.001以下の非磁性材料を用いる必要がある。従って、チタン合金製内・外方部材を備えた本実施形態の転動装置は、転動体及び保持器に透磁率1.001以下の非磁性材料を用いることによって、非磁性を要求される環境下でも良好にしようできることが確認された。

【0046】

次に、前述と同様に、 β 型チタン合金製の内外輪及びセラミックス製の転動体及び種々の材料からなる保持器で、呼び番号6001の深溝玉軸受を作製し、前述した磁束密度変化測定試験並びに後述する保持器摩耗試験に供した。このうち、内外輪を構成する β 型チタン合金にはTi-15Mo-5Zr-3Alを用い、以下の二段時効効果処理を施して完成品表面の硬さをHv480以上とした。また、転動体には窒化珪素 Si_3N_4 を用いた。

【0047】

800～850℃×1時間の溶体化処理後、水冷

425℃×20時間の時効硬化処理（一回目）

475℃×7時間の時効硬化処理（二回目）

保持器に用いられた本発明の実施例に相当する材料を下記表3に示す。これらは全て銅合金である。なお、表中の材料No. 33「エコプラス」は三宝伸銅工業株式会社製の商品名である。また、比較例として、SUS304製保持器（比較例21）、SPCC製保持器（比較例22）を作製した。

【0048】

【表3】

No.	材料名	Cu	Zn	Pb	Sn	Al	Fe	Mn	Ni	P	その他
21	YBSC1	85.3	14.2	0.3	—	—	—	—	—	—	
22	YBSC2	67.8	28.8	2.5	0.5	0.2	—	—	—	—	
23	HBSC1	58.8	36.5	0.2	0.2	0.7	0.7	2.3	0.2	—	
24	HBSC2	58.5	37.3	0.2	0.2	1.3	0.5	1.6	—	—	
25	ALBC1	77.2	—	—	—	8.3	3.3	0.9	2.2	—	
26	ALBC3	79.7	—	—	—	9.6	4.4	1	4.8	—	
27	LBC3	78.7	0.8	9.7	10	—	—	—	0.4	—	
28	LBC4	74.6	0.5	14.8	9.6	—	—	—	0.2	—	
29	C5191	93	—	—	6.5	—	—	—	—	0.27	0.27
30	C5210	91.5	—	—	8.1	—	—	—	—	0.27	Be:1.89
31	C17200	97.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
32	キューロツガル	69.8	—	—	—	—	—	—	29.8	—	
33	エコプラス	75.4	21.2	—	—	—	—	—	—	—	Si:3.0
34	C1100	99.9	—	—	—	—	—	—	—	—	
35	C14500	99.3	—	—	—	—	—	—	—	0.008	Te:0.51

【0049】

そして、これらの実施例及び比較例の転がり軸受を、前述した磁束密度変化測定試験及び下記諸元による保持器摩耗試験に供した。試験の結果及び保持器材料の透磁率、熱伝導率を表4に示す。

〔保持器摩耗試験〕

真空チャンバ内において、作製した転がり軸受を無潤滑下の回転試験に供し、 1×10^7 回転後に試験を打ち切り、その時点での保持器の摩耗量を重量変化で比較した。摩耗量は、前述したSUS304製保持器の比較例21を1として、

標準化して示した。

【0050】

回転数：200rpm

ラジアル荷重：49.0N

アキシャル荷重：19.6N

真空度： 1×10^{-5} Torr

【0051】

【表4】

		保持器材料	比透磁率	磁場変動	熱伝導率 W/(m·K)	摩耗比
実施例	21	YBSC1	1.001以下	無	159	0.75
	22	YBSC2	↑	↑	115	0.69
	23	HBSC1	↑	↑	87	0.56
	24	HBSC2	↑	↑	123	0.54
	25	AlBC1	↑	↑	50	0.45
	26	AlBC3	↑	↑	36	0.48
	27	LBC3	↑	↑	47	0.75
	28	LBC4	↑	↑	52	0.81
	29	C5191	↑	↑	80	0.55
	30	C5210	↑	↑	63	0.52
	31	C17200	↑	↑	84	0.1
	32	キューロニック	↑	↑	29	0.75
	33	エコプラス	↑	↑	38	0.24
	34	C1100	↑	↑	390	0.88
	35	C14500	↑	↑	380	0.87
比較例	21	SUS304	1.001以上	有	15	1
	22	SPCC	↑	↑	59	1.3

【0052】

この表4より明らかなように、非磁性鋼としてオーステナイト系ステンレス SUS304製の保持器を使用した比較例21では、透磁率が1.001以上と大きく、磁場変動が大きくて、非磁性環境下での使用には不適である。また、熱伝導率が15W/(m·K)と小さいため、チタン合金製内外輪との接触部分での摩耗が大きい。

【0053】

また、SPCC製保持器を使用した比較例22では、熱伝導率こそ $20\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と大きいものの、摩耗量が大きく、しかも強磁性体であることから、非磁性環境下での使用には不適である。

これに対して、本発明の実施例である実施例21～実施例35は、何れも、熱伝導率が $20\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以上の銅合金で保持器が作製され、軌道輪がチタン合金であり、且つ転動体がセラミックスであることから、磁場変動が 0.1 mT 以下と優れた非磁性を示し、しかも銅合金製保持器の自己潤滑作用によって摩耗比も小さく、非磁性環境且つ無潤滑条件下での使用に好適である。

【0054】

なお、本発明の転動装置に用いられるチタン合金は前述に限定されるものではなく、表面硬さを $H_v 400$ 以上 600 未満にすることができるものであれば、チタン合金の種類を問わず、良好に使用することができる。

また、保持器の形式は、プレス型やもみ抜き型など、既存のあらゆる形式に対応可能である。

【0055】

本発明の第2の実施形態に係る転がり軸受を図7に示す。同図において、本実施形態に係る転がり軸受は支持すべき軸（図示せず）に外嵌される内輪2と、この内輪2の外周に同軸に設けられた外輪1とを有しており、内輪2が支持すべき軸と一体に回転すると、内輪2と外輪1との間に配設された複数の球状転動体3が内外両輪1, 2の円周方向に転動するようになっている。これらの転動体3は、例えば窒化珪素等のセラミックスで形成され、その表面を内輪2の外径面と外輪1の内径面に接触させてフッ素樹脂からなる保持器4に保持されている。

【0056】

内輪2は本発明に係る転動装置の内方部材を構成し、外輪1は同じく転動装置の外方部材を構成している。また、これらの内外両輪1, 2は β 型チタン合金（例えば $\text{Ti}-15\text{V}-3\text{Cr}-3\text{Sn}-3\text{Al}$ 、 $\text{Ti}-22\text{V}-4\text{Al}$ 、 $\text{Ti}-15\text{Mo}-5\text{Zr}-3\text{Al}$ ）、 $\alpha+\beta$ 型チタン合金（例えば $\text{Ti}-6\text{Al}-4\text{V}$ ）などのチタン合金からなり、このチタン合金には、図11(C)に示される方

法により400～600℃の温度で酸化処理が溶体化処理後に施されている。

【0057】

このような低温酸化処理を施したチタン合金を軌道輪材料として用いた実施例36～43と比較例36～44とを表5に示す。なお、酸化処理の前工程である溶体化処理は、被処理物が $\alpha + \beta$ 型チタン合金の場合には950℃～1000℃の温度で、また被処理物が β 型チタン合金の場合には720℃～850℃の温度で真空中にそれぞれ約1時間放置した後に水冷して行った。

【0058】

【表5】

No.	試験片材料	酸化処理条件	化合物種類 (0<x<2)	化合物層厚さ (nm)	芯部硬さ (Hv)	焼付荷重 (N)	98N時回転抵抗 (N・m)	最大摩耗痕深さ (μ m)
36	Ti-6Al-4V	500°C×40h	TiO ₂ , TiOx	75	455	98<	0.23	1
37	Ti-6Al-4V	550°C×20h	TiO ₂ , TiOx	80	429	98<	0.22	1
38	Ti-6Al-4V	600°C×10h	TiO ₂ , TiOx	95	421	98<	0.24	1
39	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	475°C×50h	TiO ₂ , TiOx	65	430	98<	0.2	1
40	Ti-22V-4Al	475°C×50h	TiO ₂ , TiOx	70	441	98<	0.21	1
41	Ti-15Mo-5Zr-3Al	400°C×60h	TiO ₂ , TiOx	25	467	98<	0.18	2
42	Ti-15Mo-5Zr-3Al	450°C×60h	TiO ₂ , TiOx	55	503	98<	0.17	1
43	Ti-15Mo-5Zr-3Al	500°C×60h	TiO ₂ , TiOx	90	452	98<	0.21	1
36	Ti-6Al-4V	時効処理のみ	—	0	429	35	—	7
37	Ti-6Al-4V	600°C×20h	TiO ₂ , TiOx	110	411	61	—	5
38	Ti-6Al-4V	700°C×20h	TiO ₂	1800	373	98<	0.45	2
39	Ti-22V-4Al	時効処理のみ	—	0	480	43	—	6
40	Ti-15Mo-5Zr-3Al	400°C×20h	TiO ₂ , TiOx	15	448	46	—	4
41	Ti-15Mo-5Zr-3Al	300°C×40h	TiO ₂ , TiOx	10	384	38	—	6
42	SUS630	—	—	0	465	98<	0.42	4
43	YHD50	—	—	0	432	98<	0.45	5
44	Be-Cu	—	—	0	418	98<	0.36	8

【0059】

表5において、実施例36～38はTi-6Al-4Vを夫々500℃×40時間、550℃×20時間、600℃×10時間の条件で酸化処理を施したもので、実施例39はTi-15V-3Cr-3Sn-3Alを475℃×50時間の条件で酸化処理を施したものである。また、実施例40はTi-22V-4Alを475℃×50時間の条件で酸化処理を施したもので、実施例41～43はTi-15Mo-5Zr-3Alを夫々400℃×60時間、450℃×60時間、500℃×60時間の条件で酸化処理を施したものである。

【0060】

一方、比較例36及び39はTi-6Al-4VおよびTi-22V-4Alにそれぞれ時効処理のみを施したもので、比較例37及び38はTi-6Al-4Vに夫々600℃×20時間、700℃×20時間の条件で酸化処理を施したものである。また、比較例40及び41はTi-15Mo-5Zr-3Alに夫々400℃×20時間、300℃×40時間の条件で酸化処理を施したもので、比較例42～44はそれぞれSUS630、YHD50ステンレス鋼（日立金属（株）製）、ベリリウム銅である。なお、酸化処理はいずれも大気雰囲気若しくは約10vol%の酸素（O₂）を含むアルゴン（Ar）ガス雰囲気中で行った。

【0061】

上述した実施例36～43と比較例36～41をX線回析により定性分析し、酸化処理によってチタン合金の表面に形成された酸素化合物層の組成と厚さを調べた結果を同じく表5に示す。

表5において、実施例36～43と比較例37、38、40及び41とを比較すると、実施例36～42は酸素化合物層の組成が比較例37、40及び41と同じであるが、比較例38とは異なっている。また、実施例36～43は酸素化合物層の厚さが比較例40及び41よりも薄い、比較例37及び38よりは厚い。このことから、チタン合金を400℃～600℃の温度で酸化処理すると、厚さが20nm以上でTiO₂とTiO_x（0<x<2）酸化物とを含む酸素化合物層がチタン合金の表面に形成されることがわかる。

【0062】

次に、実施例36～43及び比較例36～44の芯部硬さを調べた実験結果を

表 5 に併記する。表 5 において、実施例 3 6 ~ 4 3 と比較例 3 6 ~ 4 4 とを比較すると、実施例 3 6 ~ 4 3 は酸素化合物層厚さが比較例 3 8 よりも薄く、比較例 4 1 よりも厚いが、芯部硬さが比較例 3 8 及び 4 1 よりも硬い。このことから、チタン合金を 4 0 0 °C ~ 6 0 0 °C の温度で酸化処理すると、芯部硬さが H v 4 2 0 以上のチタン合金を得られることがわかる。

【 0 0 6 3 】

〔 摩 耗 評 価 試 験 〕

次に、実施例 3 6 ~ 4 3 及び比較例 3 6 ~ 4 4 の耐摩耗性と摺動性を調べた実験結果を表 5 に示す。ここで、耐摩耗性と摺動性の実験は直径 5 0 m m の円盤試験片を用いて図 8 に示される方法、すなわち円盤試験片 3 3 の表面に窒化けい素からなる転動体 3 1 を 2 0 N ~ 9 0 N の荷重で押し付け、転動体 3 1 を保持する黄銅製保持器 3 2 を 1 0 0 0 r p m の回転速度で回転させる方法で行った。そして、試験片 3 3 への転動体 3 1 の押圧荷重を徐々に上昇させていき、保持器 3 2 の回転抵抗が 0 . 6 9 N ・ m に達したときの押圧荷重を焼付荷重として計測すると共に試験片表面の最大摩耗痕深さを計測して、実施例 3 6 ~ 4 3 と比較例 3 6 ~ 4 4 の耐摩耗性を調べた。なお、試験片 3 3 への押圧荷重が 9 8 N を超えても保持器 3 2 が回転し続けた場合には押圧荷重が 9 8 N に達した時点を保持器 3 2 の回転抵抗とした。また、実験に際しては試験片 3 3 の表面に潤滑油を塗布して行った。

【 0 0 6 4 】

表 5 において、実施例 3 6 ~ 4 3 と比較例 3 6 ~ 4 4 とを比較すると、実施例 3 6 ~ 4 4 は焼付荷重が比較例 3 6 、 3 7 、 3 9 、 4 0 及び 4 1 よりも大きい。また、実施例 3 6 ~ 4 3 は最大摩耗痕深さが比較例 3 6 、 3 7 、 3 9 、 4 0 及び 4 1 よりも浅い。このことから、チタン合金を 4 0 0 °C ~ 6 0 0 °C の温度で酸化処理すると、耐摩耗性と摺動性に優れたチタン合金が得られることがわかる。

【 0 0 6 5 】

また、実施例 3 6 ~ 4 3 はチタン合金製試験片に低温酸化処理を施し、表面に厚さ 2 0 n m 以上の酸素化合物層を有し、また酸化処理を兼ねた時効処理によって芯部硬さも向上しているため、摺動性および耐摩耗性に優れている。よって、

焼付荷重が高く、また98N時の回転抵抗が低い。さらに試験後の試験片の摩耗もわずかであった。

【0066】

比較例36及び39は、チタン合金製で、酸化処理を行っていないものである。荷重が低い場合は良好な摺動抵抗および耐摩耗性を示したが、表面に酸素化合物層がないため、負荷荷重を大きくした場合に凝着が生じ、回転抵抗が急激に増加した。そのため、焼付荷重が低い結果となった。また、試験片の摩耗量も大きかった。

【0067】

比較例37は、チタン合金製で、比較的高温の酸化処理によって、十分な厚さの酸素化合物層を備えているが、高温で長時間加熱するため、芯部硬さが軟らかい。そのため、焼付荷重がやや低く、摩耗量も大きかった。

比較例38は、700℃の高温で酸化処理したものである。酸素化合物層の厚さは十分に厚いため、焼付荷重は98N以上あり、大きな負荷にも耐え得るが、表面の酸素化合物層が粗いため、98N時での回転抵抗が大きく、摩耗量が多い。

【0068】

比較例40は、チタン合金製で、低温酸化処理を施しているが、処理時間が短く、酸素化合物層が20nmより薄いため、焼付荷重が低く、摩耗量もやや大きい。

比較例41は、300℃の非常に低温で酸化処理したものである。酸化処理温度が低すぎると、表面の酸素化合物の形成が不十分であり、また時効処理温度としても低温すぎるため、時効硬化にも長時間を要する。そのため、酸素化合物層が20nmより薄く、時効処理による硬さの向上も小さいため、焼付荷重が低く、摩耗量も大きい。

【0069】

比較例42～44は、ステンレス鋼製およびベリリウム銅製の試験片である。焼付荷重は、98N以上であるが、摺動性に劣るため、98N時の回転抵抗は本発明実施例と比較して大きく、また耐摩耗性も劣るため、試験後の摩耗量も大き

かった。

芯部硬さがHv420以上のチタン合金における酸素化合物層厚さと最大摩耗痕深さとの関係を図9に示す。同図に示されるように、酸素化合物層厚さが20nm以上になると最大摩耗痕深さが約2μm以下となり、酸素化合物層厚さが50nm以上になると最大摩耗痕深さが約1μm以下となる。したがって、酸素化合物層厚さを20nm以上にするにより軌道輪の耐摩耗性を高めることができ、酸素化合物層厚さを50nm以上にするにより軌道輪の耐摩耗性をさらに高めることができる。

【0070】

〔転がり寿命試験〕

次に、実施例36～43と比較例36～44の材料を用いて転がり軸受（軸受型番6001）の軌道輪を作成し、これらの軌道輪と窒化珪素製転動体およびフッ素樹脂製保持器とを組み合わせた転がり軸受で水中転がり寿命試験を行った実験結果を表6に示す。なお、実施例36～43と比較例37、38、40及び41は、溶体化処理を切削加工後に施し、溶体化処理後の酸化処理を研削加工後に施して軌道輪を作成した。また、水中転がり寿命試験はラジアル荷重：98N、アキシャル荷重：20N、回転数：1000rpm、潤滑：無潤滑の条件で行った。また、表6の実施例36～43と比較例36～44の転がり寿命比は、比較例44の転がり寿命を1.0とする相対値として表したものである。

【0071】

【表6】

No.	試験片材料	酸化処理条件	化合物種類 ($0 < x < 2$)	化合物層厚さ (nm)	芯部硬さ (Hv)	転がり寿命比
36	Ti-6Al-4V	500°C×40h	TiO ₂ , TiOx	75	455	3.0
37	Ti-6Al-4V	550°C×20h	TiO ₂ , TiOx	80	429	3.2
38	Ti-6Al-4V	600°C×10h	TiO ₂ , TiOx	95	421	2.8
39	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	475°C×50h	TiO ₂ , TiOx	65	430	3.1
40	Ti-22V-4Al	475°C×50h	TiO ₂ , TiOx	70	441	2.9
41	Ti-15Mo-5Zr-3Al	400°C×60h	TiO ₂ , TiOx	25	467	3.5
42	Ti-15Mo-5Zr-3Al	450°C×60h	TiO ₂ , TiOx	55	503	3.2
43	Ti-15Mo-5Zr-3Al	500°C×60h	TiO ₂ , TiOx	90	452	3.5
36	Ti-6Al-4V	時効処理のみ	—	0	429	1.6
37	Ti-6Al-4V	600°C×20h	TiO ₂ , TiOx	110	411	2.1
38	Ti-6Al-4V	700°C×20h	TiO ₂	1800	373	1.9
39	Ti-22V-4Al	時効処理のみ	—	0	480	1.7
40	Ti-15Mo-5Zr-3Al	400°C×20h	TiO ₂ , TiOx	15	448	1.9
41	Ti-15Mo-5Zr-3Al	300°C×40h	TiO ₂ , TiOx	10	384	1.4
42	SUS630	—	—	0	465	1.4
43	YHD50	—	—	0	432	1.2
44	Be-Cu	—	—	0	418	1.0

【0072】

表6において、実施例36～43と比較例36～44とを比較すると、実施例36～43の軸受は軸受寿命比が比較例44のものよりも2.8倍～3.5倍の

値を示している。このことから、400℃～600℃の温度で酸化処理されたチタン合金を軸受の軌道輪材料として用いると、耐久性に優れた軸受を得られることがわかる。

【0073】

比較例36及び39は、チタン合金製で、酸化処理を行っていないものである。耐食性には優れているが、表面に酸素化合物層が存在しないため、摺動性および耐摩耗性が劣るため、転がり寿命が低いという結果が得られた。

比較例37及び38は、チタン合金製で、酸化処理によって、十分な厚さの酸素化合物層を有しているが、高温での酸化処理のため軟化し、芯部硬さが軟らかいため、転がり寿命延長の効果が小さい。

【0074】

比較例40は、チタン合金製で、酸化処理を施しているが、処理時間が短く、酸素化合物層が20nmより薄いため、転がり寿命延長の効果は小さい。

比較例41は、300℃の非常に低温で酸化処理したものである。酸化処理温度が低すぎるため、表面の酸素化合物の形成が不十分であり、また時効処理温度としても低温すぎるため、時効処理による硬さの向上も小さい。そのため、転がり寿命延長の効果が小さい。

【0075】

比較例37～44は、ステンレス鋼製およびベリリウム銅製の試験片である。耐食性、摺動性および耐摩耗性に劣るため、転がり寿命が短い。

実施例36～43と比較例36～44の芯部硬さと転がり寿命比との関係を図10に示す。同図に示されるように、酸素化合物層の厚さが20nm以上で、かつ芯部硬さがHv420以上になると、転がり寿命延長の効果が大きくなる。ただし、酸素化合物層の厚さが20nm以上であって、芯部硬さがHv420未満であると、転がり寿命延長の効果が小さい。同様に、芯部硬さがHv420以上であっても、酸素化合物層の厚さが20nm未満であると、転がり寿命延長の効果が小さい。

【0076】

表6の転がり寿命試験結果および図10の芯部硬さと転がり寿命比との関係が

ら、400℃～600℃の温度で酸化処理されたチタン合金を転がり軸受の軌道輪材料として用いることにより、転がり軸受の軌道輪材料としてベリリウム銅を用いた場合に比較して転がり軸受の寿命を2.8～3.5倍程度延ばすことができる。

【0077】

以上の実験結果から、チタン合金を溶体化処理した後、400℃～600℃の温度で酸化処理することにより、耐摩耗性と摺動性に優れたチタン合金を得ることができる。したがって、このようなチタン合金を化学薬品等を扱う機械やX線等を利用した計測装置などに使用される軸受の軌道輪材料として用いることにより、軌道輪の耐食性、耐摩耗性および摺動性を高めることができ、耐久性に優れた軸受を得ることができる。

【0078】

なお、上述した実施形態では、転動体3を窒化けい素セラミックスから構成すると共に保持器4をフッ素樹脂から構成したが、使用温度あるいは使用環境の腐食性に耐えられる材質であれば窒化けい素やフッ素樹脂等でなくても良い。また、上述した実施形態では内外両輪1, 2を $\alpha + \beta$ 型チタン合金または β 型チタン合金で形成したが、ルチル型 TiO_2 を含む酸素化合物層の厚さが20nm以上で、芯部硬さがHv420以上であれば、チタン合金の種類は問わず、好適に使用し得る。

【0079】

さらに、上述した実施形態では内輪2と外輪1の両方を低温酸化処理が施されたチタン合金で構成したが、内輪または外輪のいずれか一方のみを低温酸化処理が施されたチタン合金で構成しても良い。

また、上述した第2の実施形態では、内外両輪の少なくとも1つを芯部硬さがHv420以上で、かつ表面にその厚さが20nm以上でルチル型 TiO_2 を含む酸素化合物層を有するチタン合金から構成したが、第1の実施形態で示された構成を組み合わせ、内外両輪の少なくとも1つを表面硬さがHv400以上600未満、芯部硬さがHv420以上、かつ表面にその厚さが20nm以上でルチル型 TiO_2 を含む酸素化合物層を有するチタン合金から構成してもよい。

【0080】

また、上述した第1及び第2の実施形態では、転がり軸受軌道輪を対象としたが、本発明の転動装置は、耐食性、非磁性及び転動疲労寿命に優れた効果を発揮するため、転がり軸受に限らず、その他の転動装置、例えばボールネジやリニアガイドなどの直動案内装置にも同様に展開可能である。この場合、ボールネジにあっては、ナットが外方部材で、雄ネジ軸が内方部材であり、直動案内装置にあっては、ベアリングが外方部材で、レールが内方部材であり、勿論、転がり軸受では外輪が外方部材で、内輪が内方部材であると定義する。

【0081】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1に係る発明によれば、転動装置を構成する部材の耐食性と耐摩耗性が向上するので、腐食性環境下や非磁性が要求される環境下などで好適に使用し得る転動装置を提供できる。

また、請求項2に係る発明によれば、転動装置を構成する部材の耐食性、耐摩耗性および摺動性が向上するので、腐食性環境下や非磁性が要求される環境下などで好適に使用し得る転動装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係る転がり軸受の第1の実施形態を示す縦断面図である。

【図2】

転がり寿命試験装置の説明図である。

【図3】

表面硬さと腐食減量との関係を示す説明図である。

【図4】

表面硬さと転がり寿命比との関係を示す説明図である。

【図5】

磁束密度変化測定試験装置の説明図である。

【図6】

磁束密度変化の説明図である。

【図 7】

本発明に係る転がり軸受の第 2 の実施形態を示す縦断面図である。

【図 8】

チタン合金の摩耗評価試験を行うための試験装置を示す図である。

【図 9】

チタン合金の表面に形成された酸素化合物層の厚さと最大摩耗痕深さとの関係を示す線図である。

【図 1 0】

チタン合金の芯部硬さと転がり寿命との関係を示す線図である。

【図 1 1】

チタン合金を硬化させる場合の熱処理工程を示す図で、（A）はチタン合金に溶体化処理と時効処理を施す場合の方法を示す図、（B）はチタン合金に高温で酸化処理を施す場合の方法を示す図、（C）はチタン合金に 4 0 0 ～ 6 0 0 ℃ の低温で酸化処理を施す場合の方法を示す図である。

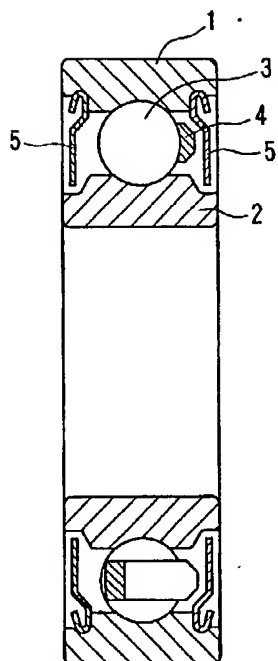
【符号の説明】

- 1 は外輪（外方部材）
- 2 は内輪（内方部材）
- 3 は転動体
- 4 は保持器
- 5 はシール

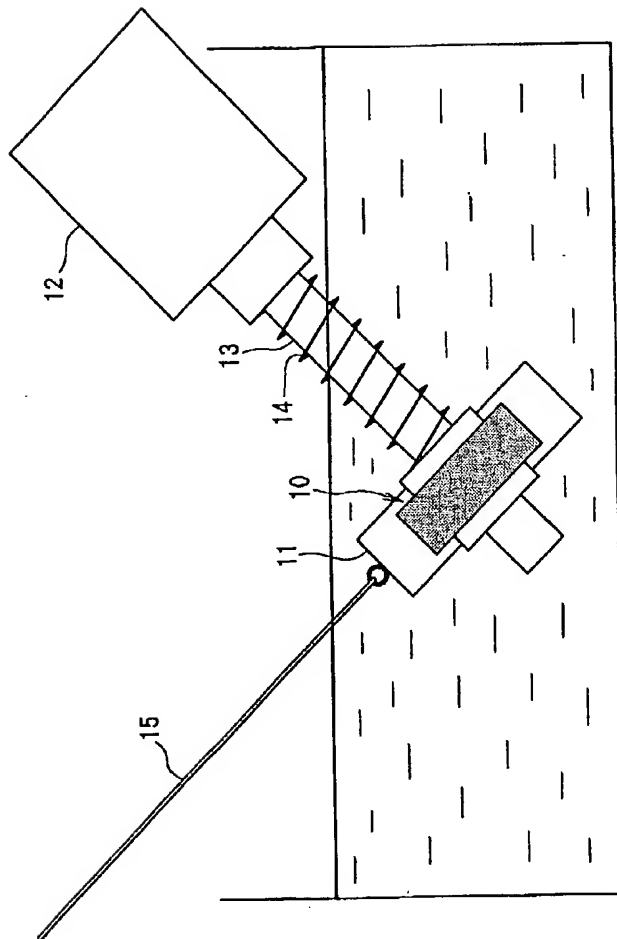
【書類名】

図面

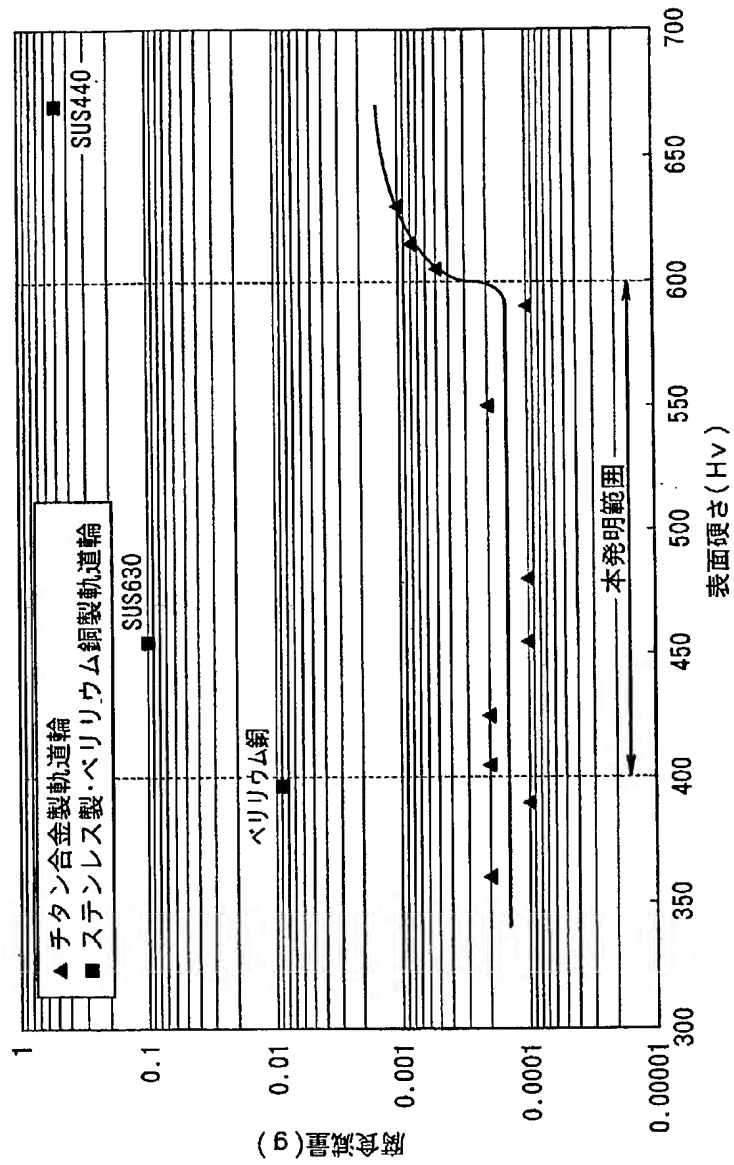
【図1】



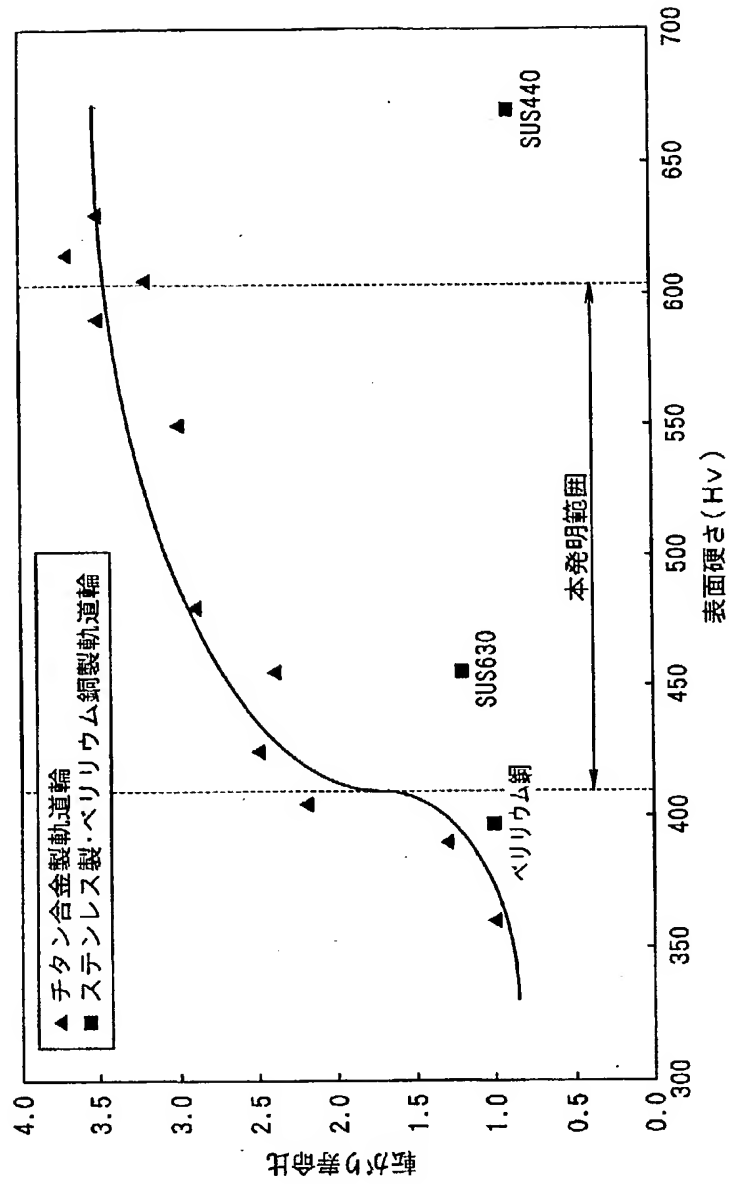
【図2】



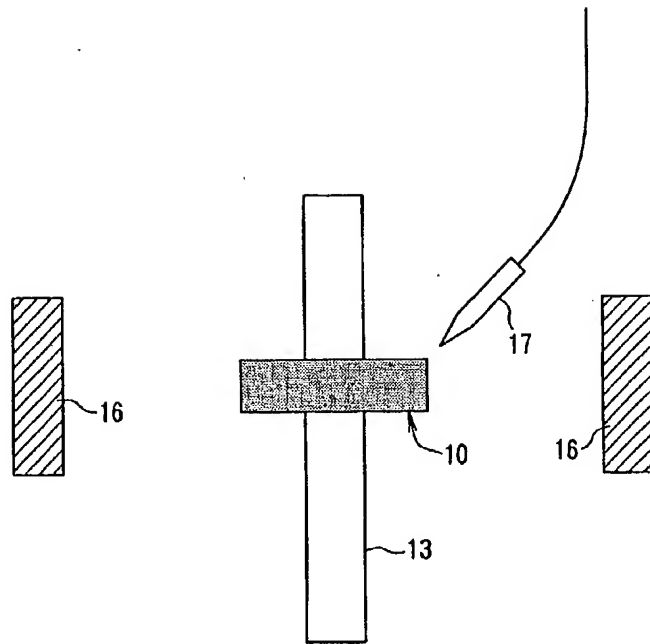
【図3】



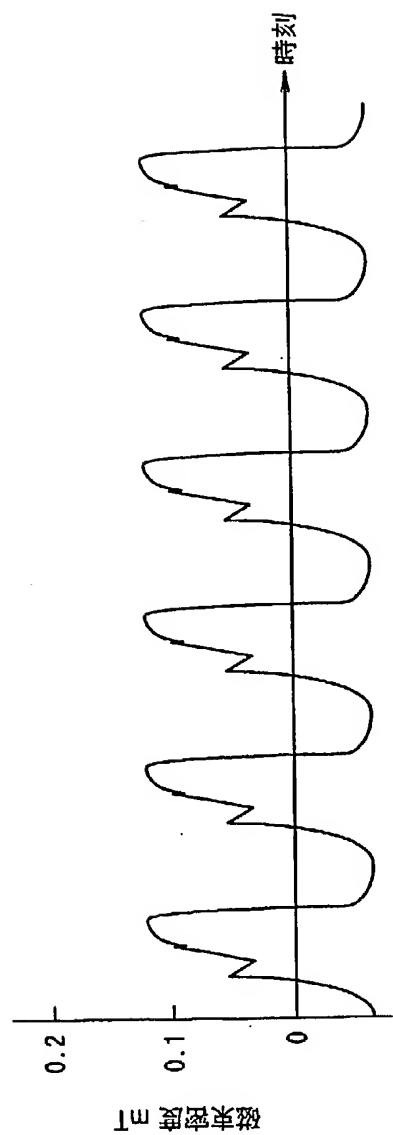
【図4】



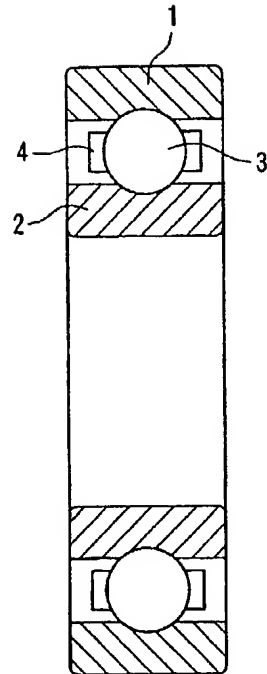
【図5】



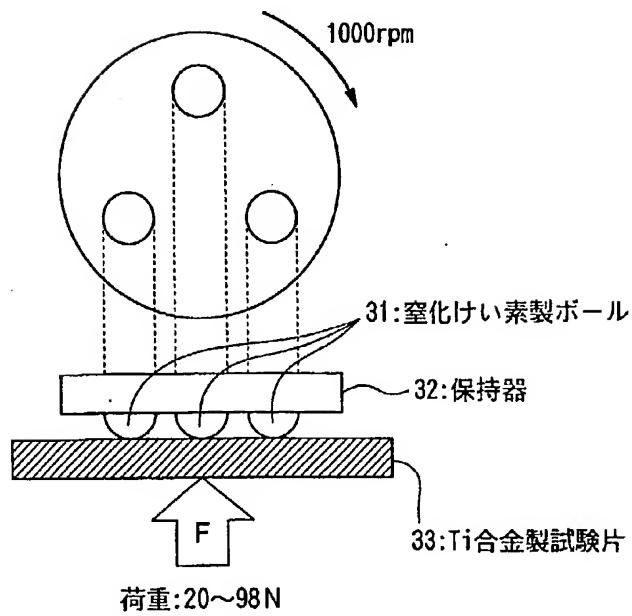
【図6】



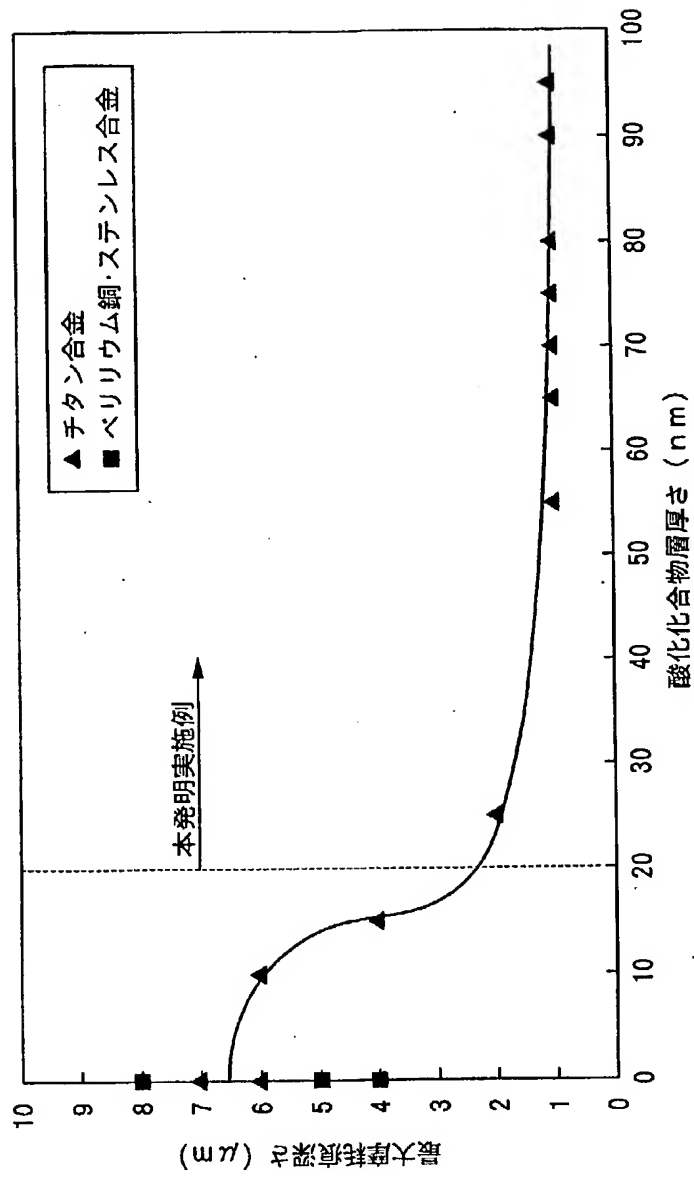
【図7】



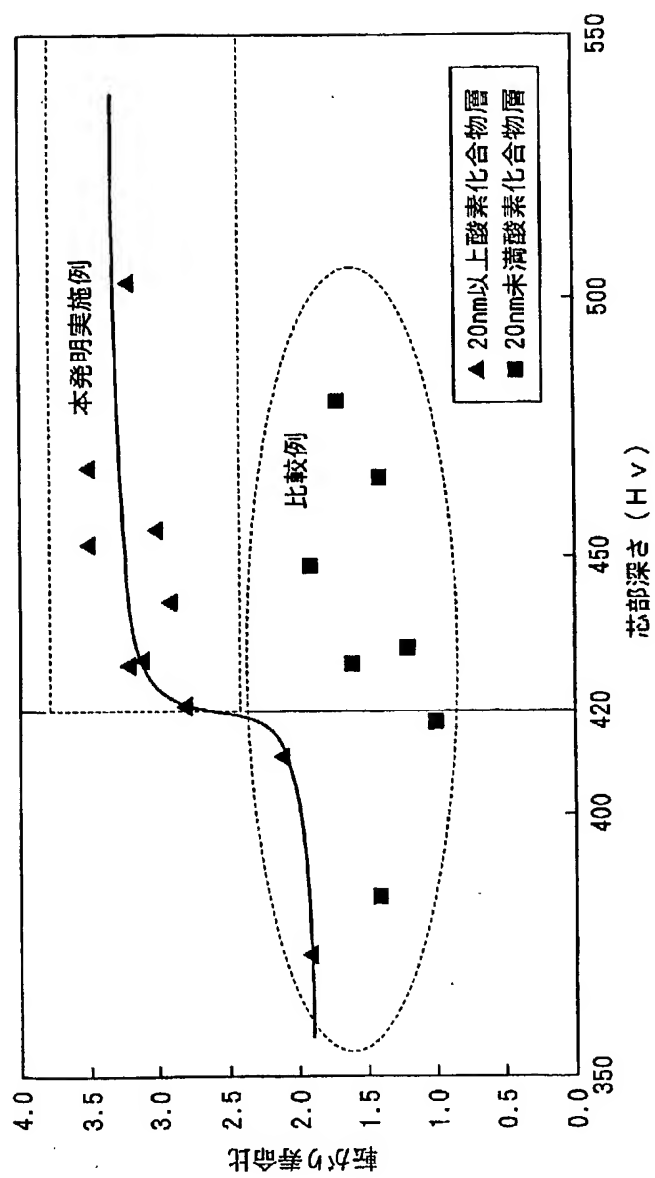
【図8】



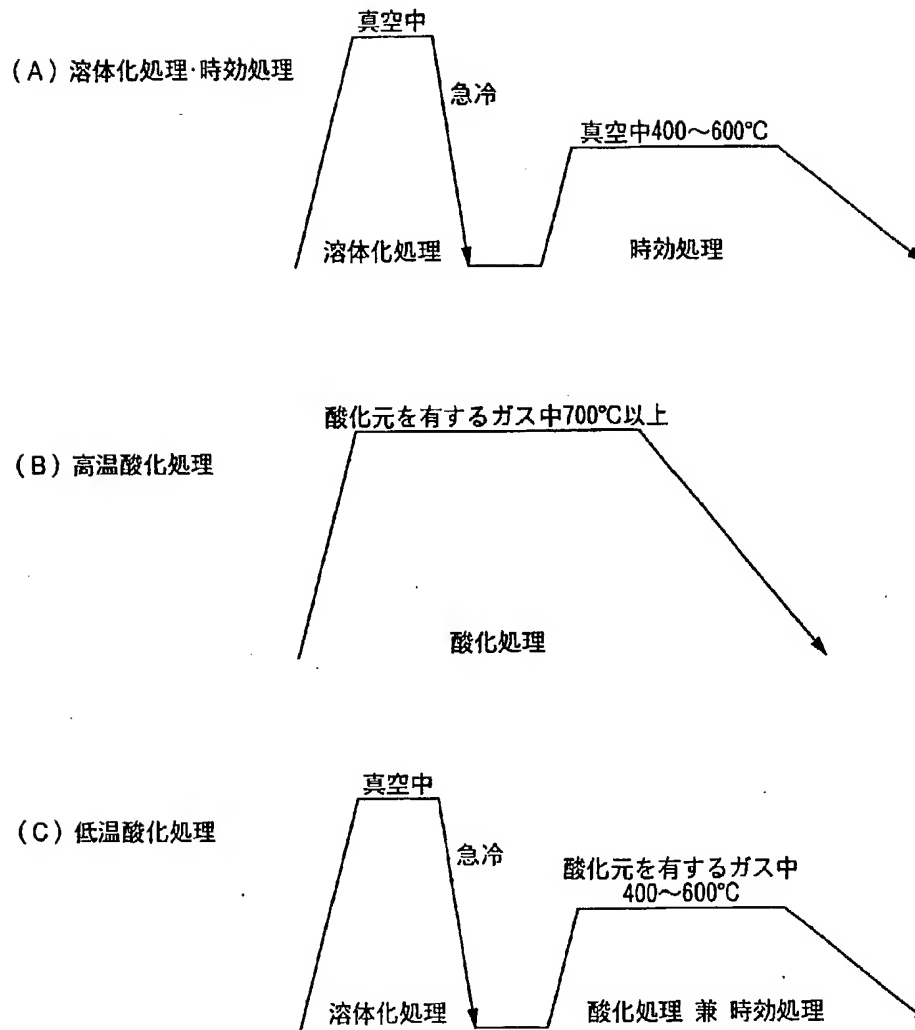
【図9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】耐食性に優れ、転がり寿命も長く、回転に伴って磁場を乱すことのない転動装置を提供する。

【解決手段】転がり軸受の場合、外方部材である外輪1及び内方部材である内輪2をチタン合金で構成し、その表面硬さをHv400以上600未満とすることにより、析出 α 相と残留 β 相とのバランスをとって、転がり寿命と耐食性とを両立する。また、チタン合金は透磁率が極めて低いので、転動体3や保持器4に非磁性材料を用いることにより、高い非磁性を達成することができるので、回転に伴って磁束密度を変化させることが無く、磁場を乱すこともない。また、転動体をセラミックス製とすると共に、保持器を、熱伝導率が20W/(m・K)以上の銅合金製とすることにより、更に優れた非磁性と、無潤滑条件下での摩耗特性を向上することができる。

【選択図】 図1

特2001-042901

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004204]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都品川区大崎1丁目6番3号
氏 名	日本精工株式会社